



UNIVERSIDAD  
**COMPLUTENSE**  
MADRID

**Proyecto de Innovación y Mejora de la Calidad Docente**

**Convocatoria 2014**

**PIMCD- 318**

***EJS-TwinCAT 3.0: Nuevo laboratorio remoto  
integrado en Moodle para prácticas de  
control de Ingeniería de Sistemas y Automática***

**Eva Besada Portas**

**Facultad de Ciencias Físicas**

**Dpto. de Arquitectura de Computadores y Automática**

## Objetivos propuestos en la presentación del proyecto

*El objetivo primordial del proyecto es el desarrollo de un nuevo laboratorio remoto, integrado en Moodle, para prácticas de control de Ingeniería de Sistemas y Automática. Éste se denominará EJS-TwinCAT 3.0 como sucesor a una versión de un laboratorio remoto ya existente, EJS-TwinCAT 2.0, en el que el lazo de control se cierra utilizando Controladores Lógicos Programables (PLCs) de TwinCAT y el acceso remoto a las variables del sistema y de los controladores se realiza a través de applets desarrollados con Easy Java Simulations (EJS).*

Los objetivos que tiene que cumplir la nueva versión del laboratorio serán los siguientes:

- 1) Permitir que los applets desarrollados para acceder a las prácticas de forma remota sean totalmente integrales en la nueva versión Moodle de la UCM. Esta integración total se caracterizará por:
  - a. Incorporar y permitir el uso del applet únicamente desde la pagina web Moodle de la asignatura, para evitar que el alumno solo pueda acceder al laboratorio desde fuera de la pagina web.
  - b. El uso de Moodle para almacenar los datos de configuración de los applets y los resultados de los experimentos realizados. De esta forma, el material de los experimentos realizados por los alumnos desde diferentes PCs se encontrará disponible en Moodle en todo momento.
  - c. La inclusión de un sistema de reservas de las prácticas dentro de Moodle para permitir que los alumnos accedan a las prácticas remotas de una forma organizada.
- 2) Conexión de los PCs industriales y las cámaras IPs que permiten visualizar los experimentos en una red local, interna al laboratorio, a la que se accederá a través de internet desde un único punto de acceso protegido. La arquitectura de conexión que se utilice en el laboratorio se caracterizará por permitir:
  - a. Únicamente el acceso directo desde internet a un equipo del laboratorio que actúa como servidor de prácticas.
  - b. Únicamente el acceso indirecto desde internet, a través del servidor de prácticas, al resto de los equipos del laboratorio remoto. Este forma de proceder protegerá a los equipos del laboratorio de posibles ataques externos.
  - c. Conectar un número elevado de equipos en la red local interna y reconfigurar ésta según las necesidades del laboratorio sin que sea necesario realizar ningún cambio en los applets que permiten el acceso a las prácticas del laboratorio. Este hecho facilitará la incorporación progresiva de nuevas prácticas sin que el alumno observe cambios en el funcionamiento de las existentes.
- 3) Mejorar la comunicación entre los equipos de los alumnos, desde los que se ejecuta el applet insertado en la pagina web de Moodle, y los PCs industriales del

laboratorio, donde se ejecutan los PLCs que controlan y monitorizan los circuitos, el motor de continua y el quatrirrotor con los que los alumnos realizan las prácticas. Estas mejoras, que planteamos desde nuestra experiencia de uso del TwinCAT en diferentes proyectos de investigación, reducirán el número de mensajes intercambiados entre los diferentes equipos a través de la red de la UCM.

- 4) Aumentar y mejorar el número de prácticas disponibles, incorporando nuevas prácticas en las que se controlen nuevos sistemas reales, se controlen las existentes por medio de nuevas técnicas, y se mejoren todas ellas teniendo en cuenta las sugerencias que los alumnos nos han realizado durante los dos cursos académicos en los que se ha estado utilizando el laboratorio EJS-TwinCAT 2.0.
- 5) Finalmente, pero no por ello menos importante, generar la documentación necesaria, en forma de manuales, que permita a los profesores de áreas de conocimiento de ciencias experimentales afines implementar otros laboratorios remotos basados en la versión de EJS-TwinCAT que se desarrolle a lo largo de este proyecto.

## Objetivos alcanzados

*El objetivo primordial del proyecto ha sido alcanzado con éxito, al haberse desarrollado un nuevo laboratorio remoto, que permite a los alumnos acceder, a través de internet y desde una página web de Moodle, a diferentes prácticas de Ingeniería de Sistemas y Automática en las que se involucra el uso de dispositivos físicos reales.* Este laboratorio, denominado EJS-TwinCAT 3.0, utiliza a) Controladores Lógicos Programables (PLCs) de TwinCAT para cerrar el lazo de control sobre los dispositivos físicos reales, b) applets desarrollados con Easy Java Simulations (EJS) para permitir a los alumnos parametrizar y visualizar el comportamiento de los dispositivos físicos y controladores involucrados en las experiencias, y c) la página web Moodle de UNILabs (unilabs.dia.uned.es), para alojar los applets y gestionar el sistema de reservas de las experiencias.

Los objetivos que cumple el laboratorio EJS-TwinCAT 3.0 de la UCM son los siguientes:

- 1) Permite que sus applets, desarrollados para acceder a las prácticas de forma remota, sean totalmente integrales en la página web Moodle<sup>1</sup> de UNILabs. Esta integración total se caracteriza por:
  - a. El desarrollo de unos applets que los alumnos únicamente pueden utilizar desde la web Moodle de UNILabs. De esta forma, se evita que los alumnos puedan utilizarlos fuera de la página web y se asegura que la versión del applet que está siendo usada en todo momento se corresponde con los PLCs que interactúan con los dispositivos físicos reales.
  - b. Almacenar los datos de configuración de los applets y los resultados numéricos y gráficos de los experimentos realizados dentro de la página web Moodle de UNILabs.
  - c. Usar el sistema de reservas que incluye la página web Moodle de UNILabs, de forma que los alumnos accedan a las prácticas remotas sobre dispositivos físicos reales de una forma organizada, teniendo en cuenta sus preferencias de horario y los huecos que dejan libres sus compañeros. De esta forma, pueden organizar mejor sus horas de estudio sin tener que permanecer a la espera mientras otro compañero está realizando la práctica.
- 2) Conexión de los PCs industriales y las cámaras IPs que permiten visualizar los experimentos en una intranet del laboratorio, a la que se accede a través de un único equipo, accesible desde internet y responsable de canalizar todas las

---

<sup>1</sup> Aunque el objetivo inicial del proyecto era integrar los applets en la página web Moodle de la UCM, al final se ha optado por incluirlos en la página web Moodle de UNILabs, ya que 1) es la página web de una red inter-universitaria en la que se alojan diferentes laboratorios virtuales y remotos de Automática y Físicas españoles y 2) ya se encuentra preparada, al tener instalado el plugin EJSApp, para integrar los applets, almacenar los resultados de los experimentos, y gestionar el acceso a los mismos mediante un sistema de reservas. Para utilizar en un futuro los applets desarrollados desde la página web de la UCM, únicamente será necesario instalar en ella el plugin de EJSApp.

conexiones y comunicaciones que se establecen entre los applets y los equipos del laboratorio. Para alcanzarlo, se ha utilizado la arquitectura y mecanismos de conexión de experiencias de SARLAB, que se caracterizan por permitir:

- a. El acceso directo a las experiencias a través del PC que tiene instalado el servidor de prácticas de SARLAB, que se encarga de canalizar toda la información intercambiada entre los applets y los PLCs.
  - b. El acceso indirecto, a través del servidor de SARLAB, a todos los equipos (PCs industriales y cámaras IPs) del laboratorio remoto.
  - c. Conectar un número ilimitado de equipos en la intranet del laboratorio y poder reconfigurarla sin realizar cambios en los applets. De esta forma se pueden incorporar fácilmente nuevas experiencias y equipos, sin que el alumno observe ningún cambio en el funcionamiento de las existentes.
- 3) Reduce el número de mensajes que se intercambian entre los equipos de los alumnos, desde los que se ejecuta el applet insertado en la pagina web de Moodle, y los PCs industriales del laboratorio, donde se ejecutan los PLCs que controlan y monitorizan los sistemas físicos reales. Este mejora, implementada sobre una nueva versión de la librería de comunicación EJSTwinCAT, redundando en un intercambio de información más ágil y en una reducción de la sobrecarga de la red de la UCM.
- 4) Mejora de las prácticas disponibles, mediante la incorporación de un nuevo dispositivo físico real (un mono-rotor con desplazamiento vertical) y de nuevos tipos de controladores (PIDs, realimentación de variables de estado, 2 DOF, modos deslizantes) sobre los sistemas existentes (circuitos, motor de continua y cuatrirrotor fijo con 3 grados de libertad).
- 5) Generación de varios manuales sobre EJS-TwinCAT 3.0. El de alumnos detalla el funcionamiento del laboratorio desde el punto de vista de un usuario que tiene que interactuar con la pagina web Moodle de UNILabs y con los applets de las experiencias. El de los profesores explica como configurar las experiencias y el sistema de reservas dentro de UNILabs, y como crear nuevas experiencias detallando la programación de los applets y PLCs. Los de las experiencias explican los sistemas físicos reales y los controladores que se han implementado para cada uno de ellos.

## **Metodología empleada en el proyecto**

Como el objetivo principal del proyecto consiste en desarrollar un nuevo laboratorio remoto, integrado en una página web de Moodle para prácticas de Ingeniería de Sistemas y Automática, donde los sistemas de controlen con PLCs de TwinCAT y se acceda remotamente a ellos utilizando applets de EJS, ha sido imprescindible utilizar el sistema TwinCAT de Beckhoff, la herramienta de desarrollo de applets Easy Java Simulations, y una página web Moodle, UNILabs, actualizada con los plugins necesarios para gestionar el uso de los applets del laboratorio correctamente.

Además de las herramientas anteriormente enumeradas, se han utilizado los siguientes componentes software:

- 1) EJSApp, el conjunto de plugins desarrollados en la Universidad de Educación a Distancia para facilitar la integración de los applets de EJS y la administración, por medio de un sistema de reservas, del acceso de laboratorios virtuales y remotos desde una página web Moodle (en nuestro caso UNILabs).
- 2) SARLAB, un sistema de acceso remoto a laboratorios desarrollado en la Universidad de Huelva para facilitar la puesta en marcha de nuevos laboratorios formados por múltiples equipos y dispositivos físicos conectados a una red local accesible desde internet a través de un punto de acceso único protegido. Este punto de acceso único, un PC con Linux en el que se encuentra instalado SARLAB, actúa de pasarela de comunicación entre los equipos de los alumnos y los equipos del laboratorio.
- 3) Las librerías de JAVA proporcionadas por TwinCAT para comunicar aplicaciones Windows (en nuestro caso una aplicación java que actúa como servidor) con los PLCs que cierran el lazo de control sobre los sistemas de las prácticas. Este elemento es el núcleo de la nueva librería EJS-TwinCAT 3.0, especialmente diseñada para minimizar el número de mensajes intercambiados entre los equipos de los alumnos y todos los equipos del laboratorio.

Es importante resaltar que la elección de EJSApp y SARLAB como herramientas de integración en Moodle y punto único de acceso del laboratorio han sido realizadas, tras los contactos establecidos y las conversaciones mantenidas con sus autores en los encuentros anuales sobre innovación educativa del Comité Español en Automática (CEA-IFAC) a los que asisten algunos de los profesores del grupo ISCAR involucrados en este proyecto.

Finalmente, para diseñar las práctica de control con nuevos dispositivos físicos (el rotor vertical) ha sido necesario incorporar al laboratorio nuevas tarjetas de conexión de Beckhoff.

## **Recursos humanos**

Durante el desarrollo del proyecto han participado activamente los siguientes profesores y personal técnico, realizando las labores que se enumeran a continuación:

- 1) Los profesores José Antonio López Orozco y Eva Besada Portas han desarrollado la nueva metodología del laboratorio y el software genérico que da soporte a EJS-TwinCAT 3.0, mejorado el software de comunicación entre los PCs de los alumnos y los PLCs del laboratorio, e incorporando al laboratorio las nuevas herramientas EJSApp y SARLAB. Además, han sido los responsables de actualizar los PLCs y los applets de las prácticas ya existentes y de documentar el funcionamiento del nuevo laboratorio EJS-TwinCAT 3.0 para que la metodología desarrollada pueda ser utilizada por otros profesores.
- 2) El profesor Segundo Esteban San Román, con la ayuda de un alumno del Master de Ingeniería de Sistemas y de Control y de los profesores Eva Besada Portas y José Antonio López Orozco, ha diseñado las prácticas de control con nuevos dispositivos físicos reales e implementado el nuevo PLC y applet asociado a dicha práctica.
- 3) El profesor Jesús Manuel de la Cruz ha utilizado la pagina web Moodle de UNILabs en sus asignaturas. Además, ha incorporado las nuevas prácticas como elemento curricular de las asignaturas de control.
- 4) Los profesores José María Girón Sierra y Juan Francisco Jiménez Castellanos han evaluado el funcionamiento de los elementos del laboratorio EJS-TwinCAT 3.0, poniendo especial interés en su interacción con Moodle. Además han revisado los manuales desarrollados para documentar la metodología a seguir en la construcción de nuevos laboratorio remotos.
- 5) Finalmente, los técnicos de laboratorio David Sánchez Foces y Félix Márquez Vidal han apoyado activamente a todo el equipo docente en diferentes labores: instalación de SARLAB, montaje del hardware de las nuevas prácticas, puesta a punto de la nueva red interna de equipos del laboratorio, etc.

## **Desarrollo de las actividades**

Para desarrollar el nuevo laboratorio remoto de prácticas de control de Ingeniería de Sistemas y Automática basado en PLCs de TwinCAT y applets de EJS se han llevado a cabo las siguientes tareas:

- 1) Se ha desarrollado la nueva librería Java EJS-TwinCAT 3.0, que incorpora las mejoras que reducen el intercambio de mensajes entre los PCs de los alumnos y los PCs industriales donde se ejecutan los PLCs. Se ha comprobado el correcto funcionamiento de las nuevas rutinas de comunicación en las diferentes prácticas de control.
- 2) Se ha analizado el funcionamiento de las nuevas herramientas software utilizadas en el proyecto: la página web Moodle de UNILabs y el servidor de experiencias remotas SARLAB. Se han probado dichas herramientas sobre una práctica piloto, elegida inicialmente para determinar las modificaciones que hay que hacer en una práctica existente, para poder utilizarlas en la nueva versión del laboratorio.
- 3) Se ha determinado la nueva metodología del laboratorio remoto EJS-TwinCAT 3.0, en la que se incluyen las mejoras de comunicación, la incorporación de los applets en una página web Moodle y el uso de un punto de acceso único a través de SARLAB.
- 4) Se han actualizado todos los PLCs y los applets de las prácticas ya existentes (circuitos, motor de continua y cuatrirrotor) de acuerdo con la metodología desarrollada para EJS-TwinCAT 3.0. Durante el proceso de actualización se han introducido las sugerencias de mejora que nos habían hecho los alumnos sobre las prácticas existentes. Finalmente, se ha comprobado el funcionamiento de todas las prácticas tras el cambio de metodología y tras la incorporación de las sugerencias de los alumnos.
- 5) Se ha diseñado una nueva práctica de control: un rotor vertical. Se ha determinado los componentes electrónicos y las tarjetas de Beckhoff necesarias para interactuar con ella. Se ha programado el PLC que implementa los controladores que los alumnos tienen que probar y los applets que les permitan acceder a los mismos a través de internet. Se ha incorporado la nueva práctica como elemento curricular de las asignaturas de control.
- 6) Se han creado las páginas web Moodle de UNILabs asociadas a las prácticas del laboratorio EJS-TwinCAT 3.0. Se han incluido los applets EJS en ellas y gestionado el acceso a los mismos a través del sistema de reservas.
- 7) Se ha documentado el funcionamiento del nuevo laboratorio EJS-TwinCAT por medio de manuales para que la metodología pueda ser utilizada por profesores de áreas de conocimiento de ciencias experimentales afines para implementar otros laboratorios remotos. También ha sido evaluada por diferentes profesores del área de Ingeniería de Sistemas y de Control.



Las tareas 1, 2 y 3 se ha realizado durante la fase inicial del proyecto, para disponer de una definición de la metodología del laboratorio EJS-TwinCAT 3.0 antes de proseguir con las siguientes tareas.

Las tareas 4 y 5 han constituido la segunda fase del proyecto, en la que se han migrado las prácticas ya existentes en EJS-TwinCAT 2.0 a la nueva versión del laboratorio y en la que se han desarrollado nuevas experiencias de control utilizando directamente la nueva metodología del laboratorio.

La tarea 6, en la que se generan las pagina web Moodle de UNILabs en la que se incorpora el material didáctico del laboratorio EJS-TwinCAT 3.0, constituye la tercera fase del proyecto.

La tarea 7 se ha realizado durante diferentes fases del proyecto. La generación de la documentación de la metodología del laboratorio se ha realizado durante la segunda fase, mientras que la evaluación del material didactico del nuevo laboratorio EJS-TwinCAT 3.0 y de los manuales que documentan la metodología seguida se ha realizado durante su fase final.

## **Anexo: Breve resumen con las características más relevantes del laboratorio**

El laboratorio EJS+TwinCAT 3.0 de la Universidad Complutense de Madrid (UCM) ha sido desarrollado para permitir a los alumnos acceder, a través de internet y desde una página web de Moodle, a diferentes prácticas de Ingeniería de Sistemas y de Control con dispositivos físicos reales.

Para acceder al laboratorio desde cualquier equipo, el alumno utiliza un applet que da acceso a cada una de las experiencias que tiene que realizar. El applet, desarrollado por los responsables de las experiencias con Easy Java Simulation (EJS), sirve para que el alumno: 1) parametrize el comportamiento del sistema, de las señales de referencia y de los controladores; y 2) observe la evolución del sistema por medio de imágenes de video y diferentes gráficas.

Durante la experiencia, el applet intercambia información de parametrización y de observación con un Controlador Lógico Programable (PLC) que cierra el lazo de control del sistema localmente y que se ejecuta en un equipo del laboratorio, en el que se encuentra instalada la herramienta TwinCAT que da soporte al comportamiento en tiempo real de los PLCs y al que se encuentran conectados los sistemas físicos reales que se desean controlar. Es decir, el PLC cierra el lazo de control de la experiencia en un equipo configurado para el control en tiempo real y directamente conectado a los sistemas físicos y su applet correspondiente permite a los alumnos observar y modificar el comportamiento de la experiencia desde sus propios PCs.

Para que el desarrollo de las experiencias sea exitoso es necesario asegurar un acceso protegido (frente a usos indebidos), exclusivo (no simultáneo) y organizado (mediante turnos) de cada applet a su PLC. Para lograrlo, se utilizan varias herramientas/servidores, responsables de alojar el material del curso, gestionar los turnos de acceso a las experiencias, proteger a los equipos del laboratorio frente usos indebidos, y establecer el flujo de conexión de información entre cada applet y su PLC.

Las herramientas/servidores involucrados son:

- **UNILabs**, la pagina web y el servidor de una red inter-universitaria de laboratorios virtuales y remotos de Automática y Físicas, en la que también se alojan los manuales y los applets de las diferentes prácticas que constituyen el laboratorio EJS+TwinCAT 3.0 de Ingeniería de Sistemas y de Control de la UCM. Esta pagina web, accesible desde el enlace [unilabs.dia.uned.es](http://unilabs.dia.uned.es), incorpora EJSApp, un módulo especialmente diseñado por la Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED) para la inclusión y gestión del acceso por turnos de applets de EJS desde Moodle. Por lo tanto, es

la responsable de alojar la última versión de los applets y de asegurar que los alumnos interactúan con ellos de forma organizada.

- **SARLAB**, la herramienta y servidor desarrollado conjuntamente por la Universidad de Huelva y la UNED para permitir la realización de prácticas experimentales online. Es la responsable de proteger el acceso a los equipos conectados a la intranet del laboratorio EJS+TwinCAT de la UCM, canalizando a través de un único equipo (el servidor de SARLAB de la UCM) todo el flujo de información que se establece entre los applet y los equipos del laboratorio.
- **Servidor EJS+TwinCAT**, desarrollado por el grupo de Ingeniería de Sistemas y Automática de la UCM para que los applets puedan acceder, utilizando los métodos de conexión propios del TwinCAT, a las variables de parametrización y observación de los PLCs que cierran el lazo de control sobre las plantas.

La relación entre todos los elementos que constituyen el laboratorio se muestra en la siguiente figura. Los applets y los PLCs, se representan en la parte izquierda y derecha de la imagen, ya que son los responsables finales de los dos extremos del laboratorio: el applet es la aplicación que permite a los alumnos interactuar con la experiencia y el PLC el programa que cierra el lazo de control sobre el sistema real. En la parte central se muestran sucesivamente las herramientas que organizan el acceso a las prácticas a través de dos redes diferenciadas: UNILabs proporciona los servicios asociadas a la pagina web que aloja los applets, SARLAB canaliza las comunicaciones entre los applets y la red local del laboratorio, y el servidor de prácticas EJS+TwinCAT establece la conexión final entre cada applet y su PLC correspondiente. En la figura también se muestran los equipos en los que se aloja cada herramienta (portátiles y PCs), las cámaras que usan los applets para capturar las imágenes de las experiencias con objetos móviles, y el hardware de los sistemas reales utilizados en las experiencias.

Es importante destacar que las diferentes capas de software involucradas en el laboratorio introducen retardos de comunicación entre el applet y el PLC. Sin embargo, y debido al cierre del lazo de control a través de un PLC directamente conectado a los sistemas, estos retardos no afectan a los controladores y al sistema, si no que únicamente influyen en la visualización de los resultados en el applet y en el envío puntual de información de parametrización al PLC.

